Versuche

über den

Raumsinn der Haut

der

unteren Extremität.

Von

A. Paulus
aus Niederstotzingen.

Mit einer Tafel.

München 1872.
R. Oldenbourg.

Versuche

über den

Raumsinn der Haut der unteren Extremität.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung

der Doctorwürde in der Medicin & Chirurgie

unter dem Präsidium

von

Dr. Karl von Vierordt,
o. ö. Professor der Physiologie & Vorstand des physiologischen Instituts,

vorgelegt

von

Adolph Paulus
aus Niederstotzingen.

Tübingen.
Druck von Ernst Riecker.

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeitschrift für Biologie, Jahrgang 1871, VII. Band, III Heft, veröffentlicht. Was die von mir beobachtete Ausnahme von der allgemeinen Norm in der Region des Unterschenkels betrifft, so wurden über die Feinheit des Raumsinns desselben nachträglich von Herrn A. Riecker aus Tübingen sehr zahlreiche Versuche angestellt, die demnächst in der oben genannten Zeitschrift veröffentlicht werden sollen. Es stellte sich dabei heraus, dass an allen Lokalitäten nahezu Gleichheit in der Entwicklung des Raumsinns gefunden wurde; und somit — in Rücksicht auf die sehr verschiedenartige Gebrauchsweise des Unterschenkels — die Statthaftigkeit der allgemeinen Norm, welche der Entwicklung des Ortsinns zu Grunde liegt, vollkommen bestätigt.

Bei meinem Abgang von der hiesigen Hochschule ergreife ich zugleich die Gelegenheit, allen meinen hochgeehrten Lehrern meinen Dank auszusprechen. Zu besonderem Dank fühle ich mich Herrn Professor Dr. v. **Vierordt** verpflichtet für die vielen Beweise von Wohlwollen, deren ich mich während meiner Studienzeit erfreute, und für die vielseitige Unterstützung, welche er mir bei der Anfertigung dieser Arbeit zu Theil werden liess.

Produkte der Stumpfheitszuwüchse in die Abstände der Hautstellen von dem nächst oberen Gelenk sind einander gleich.“

Dieses Resultat liess es wohl der Mühe werth erscheinen, Versuche über die Unterscheidungs-Empfindlichkeit auch der unteren Extremität anzustellen; ich ging daher mit Vergnügen auf den Vorschlag des Herrn Professor Dr. v. Vierordt ein, diese Arbeit zu unternehmen.

Die untere Extremität unterscheidet sich von der oberen einmal dadurch, dass sie bei weitem nicht so vielen Verwendungsweisen dient, dann aber liegt ein sehr wesentlicher Unterschied beider darin, dass bei der oberen Extremität, mag sie als Ganzes oder blos eine ihrer vier Hauptabtheilungen bewegt werden, die Rotationsaxe fast immer oberhalb des bewegten Theiles liegt, so dass die Theile in der Richtung gegen die Fingerspitze zunehmend grössere Exkursionen vollführen. Andere Verwendungsweisen sind Ausnahmsfälle, z. B. Rotation des Armes um die auf eine Unterlage gebrachte Hand bei einzelnen Turnübungen u. dgl. Ganz anders verhält es sich bei der unteren Extremität; sehr häufig vollführen die dem Rumpfe näher liegenden Stellen eines der drei Hauptabschnitte (Oberschenkel, Unterschenkel, Fuss sammt Zehen) grössere Exkursionen als die peripheren Theile; es findet also eine Vertauschung der Rotationsaxen sehr häufig statt.

Man wird daher von vornherein annehmen dürfen, dass diese von dem Gebrauch der Theile abhängige, eigenthümliche Bewegungsweise auf die Entwickelung und Ausbildung des Raumsinns in der Haut der unteren Extremität nicht ohne Einfluss sein werde.

Meine Vorgänger, die Herren Kottenkamp und Ullrich, setzten sich bei ihren Studien an der oberen Extremität zahlreichere Aufgaben, als ich für meine Zwecke nöthig hielt; sie wandten sowohl die Methode der richtigen und falschen Empfindungen, als auch die des mittleren Fehlers an; auch die Untersuchung der Streck- und Beugeseite, sowie der Einfluss der Quer- und Längsrichtung der mit der Haut in Berührung kommenden Tastobjekte wurden nach dem Vorgange E. H. Weber's in den Bereich der Versuche hereingezogen. Die Zahl ihrer Versuche ist so gross, dass sie allein nach

der Methode der richtigen und falschen Empfindungen über 8000 Versuche ansammelten.

Ich gab meinen Untersuchungen eine geringere Ausdehnung, indem ich mich auf die Haut der vorderen, äusseren Seite der unteren Extremität beschränkte und die Leistungen des Raumsinns ausschliesslich in der Querrichtung des Gliedes prüfte. Letztere Richtung verdient den Vorzug vor der Längsrichtung, weil man beim Berühren zweier in der Längsrichtung der Extremität liegenden Punkte es mit Hautstellen zu thun hat, deren Raumsinn keineswegs genau gleichwerthig ist, ein Umstand, der namentlich bei grösseren Abständen der berührten Hautpunkte die Versuchsergebnisse etwas beeinträchtigen würde. Auch stehen die aus den Versuchen gewonnenen Endmittel um so sicherer da, je grösser die Zahl der Einzelversuche ist, was ich wiederum nur durch die Beschränkung meiner Untersuchungen auf ganz bestimmte Fragen erreichen konnte.

Die Arbeit vertheilte sich auf zwei Perioden; ich begann mit den Versuchen im Juni 1870, wurde aber schon Ende Juli durch den Ausbruch des Krieges, der mich zum freiwilligen Sanitätsdienst abrief, unterbrochen; die bei weitem grösste Zahl der Versuche führte ich während des ganzen Sommersemesters 1871 aus. Die Resultate beider Perioden stimmten übrigens durchaus miteinander überein. Der wärmeren Jahreszeit ist bei Versuchen der Art durchaus der Vorzug zu geben, bei welcher die Hautoberfläche geringeren Temperaturwechseln unterworfen ist, so dass eine grössere Constanz der Tastempfindlichkeit mit Sicherheit erwartet werden darf.

Die Versuche wurden nach dem von den Herren Kottenkamp und Ullrich angewandten Verfahren ausgeführt. Auf kleine Brettchen wurden je zwei feine Nadeln, deren kleine Köpfchen bestimmte fixe Distanzen (2, 4, 6—30 Pariser Linien) hatten, befestigt. Solche Tastobjekte mit constanten Distanzen der Berührungspunkte der Haut erleichtern die Arbeit in hohem Grade.

Zur Vermeidung der Ermüdung, die bei längerer Fortsetzung solcher Versuche unausbleiblich ist und grössere Fehler zur unvermeidlichen Folge hat, wurden die täglichen Versuche nie über eine halbe Stunde ausgedehnt.

Die Bemerkung darf ich nicht unterlassen, dass meine Haut

sehr empfindlich ist; namentlich in der Anfangszeit stellten sich bei Berührung der Haut sehr häufig die schon von Czermak erwähnten Tastzuckungen sehr häufig ein. Bei Blinden, deren Tastsinn bekanntlich hoch entwickelt ist, wird diese Erscheinung nach dem genannten Forscher vielfach bemerkt. Um der Arbeit alle Garantien absoluter Voraussetzungslosigkeit zu geben und Versuchsergebnisse zu erhalten, mit denen gerechnet werden kann, wurde nicht die von den früheren Forschern gewählte Methode des „eben merklichen Unterschiedes", sondern — wie das auch in den Versuchen der Herren Kottenkamp und Ullrich der Fall war — die sehr umständliche und eine grosse Zahl Versuche verlangende Methode der „richtigen und falschen Fälle" angewandt. Ausserdem sorgten zahlreiche Vexirversuche für die so unumgänglich erforderliche Unpartheilichkeit meiner Entscheidungen, d. h. der Assistent musste in vielen Fällen anstatt zweier blos einen Hautpunkt berühren. Ausserdem wurden auch zahlreiche Versuche mit so geringen Distanzen der Berührungspunkte angestellt, dass die betreffenden Entscheidungen in der Regel wieder keine Doppel-, sondern einfache Empfindungen waren. Aber auch in diesem Gebiet der kaum oder wenig merklichen Empfindungen stellte sich ein regelmässiges Anwachsen der richtigen Fälle, d. h. der Doppelempfindungen mit zunehmendem Abstand der berührten Hautpunkte auf das Deutlichste heraus.

Bei der Berührung zweier Hautstellen sind dreierlei Antworten möglich:

1) Zweifach (richtige Fälle).
2) Unentschieden (halb richtig, halb falsch).
3) Einfach (falsches Urtheil).

Die Theorie rechnet, wie gesagt, die unentschiedenen Urtheile hälftig zu den falschen, hälftig zu den richtigen; so verfuhr z. B. Fechner in seinen methodisch so maassgebenden Versuchen über die Unterscheidungsempfindlichkeit für Druckwirkungen. Ordne ich meine Versuche nach diesem Prinzip an, so nimmt die Zahl der richtigen Fälle mit zunehmender Distanz der berührten Hautpunkte nicht ganz so regelmässig zu, als wenn ich blos die wirklich richtigen Fälle der Rechnung zu Grunde lege. Dieses ganz objektive

und völlig unanfechtbare Kriterium ist es, wenn ich bei meinen Zusammenstellungen blos diejenigen Fälle als richtig in Rechnung bringe, bei welchen zwei berührte Hautstellen eine Doppelempfindung angaben.

Die Zuverlässigkeit der Entscheidungen des Versuchsindividuums kann aus zwei aus den Versuchsreihen sich unmittelbar ergebenden, völlig objektiven und von jeder theoretischen Anschauung unabhängigen Kriterien beurtheilt werden. Bei der Berührung blos einer Hautstelle sollte die Empfindung immer blos eine einfache sein; aber es kommen bei diesen Vexirversuchen auch Fehler vor; die Sinnlichkeit arbeitet bekanntlich keineswegs mit absoluter Fehlerlosigkeit. Wir werden aber später sehen, dass die Zahl der Irrthümer, die ich bei diesen Vexirversuchen beging, eine verhältnissmässig geringe ist. Das zweite aus den Versuchsbedingungen unmittelbar hervorgehende Kriterium ist, dass die prozentige Zahl der richtigen Fälle mit der Zunahme der Abstände der berührten Hautpunkte ununterbrochen zunehmen muss. Dieser Forderung könnte empirisch in aller Strenge nur genügt werden durch eine ungeheure Zahl von Einzelversuchen. Ein Ueberblick über meine Versuchstabellen ergibt in der That, dass störende Ausnahmen von dem in Rede stehenden Verhältniss nicht sehr häufig sind. Deshalb glaube ich mich auch zu dem Ausspruch berechtigt, dass die angesammelte Zahl meiner Einzelbestimmungen, die sich auf 5710 im Ganzen beläuft, hinreicht, um die Leistungen des Raumsinns der Haut der unteren Extremität in annähernd richtigen Zahlenwerthen festzustellen. Meinen Versuchen ging ausserdem eine vorherige kurze Einübung voraus, in der Absicht, die dabei gewonnenen Ergebnisse nicht in die Endtabellen aufzunehmen.

Meine Körperlänge beträgt 165 ctm., die Länge der unteren Extremität vom oberen Rand des grossen Trochanter, der nach Ed. Weber der Höhe des Drehpunktes des Hüftgelenkes entspricht, bis zur Ferse 89 ctm., die Länge der Extremität vom oberen Rand des grossen Trochanter bis zum unteren Rand der Patella 42 ctm. Der Oberschenkel wurde in 8 Lokalitäten getheilt, welche um je 6 ctm. von einander abstehen. (Die Axe des Kniegelenks befindet sich etwa 2 ctm. über dem unteren Rand der Patella.)

Die Länge des Unterschenkels vom unteren Rand der Patella bis zum Schienbein-Sprungbeingelenk beträgt 39 ctm.; der Unterschenkel wurde in 8 Lokalitäten mit je 5 ctm. Abstand getheilt, die letzte jedoch ist von der vorhergehenden nur 4 ctm. entfernt. Die Tastobjekte wurden nach Aussen von der Crista tibiae aufgesetzt.

Der Fussrücken vom Schienbein-Sprungbeingelenk bis zur Gelenkverbindung der grossen Zehe ist 12 ctm. lang und wurde in 3 Lokalitäten mit je 4 ctm. Abstand getheilt.

Die grosse Zehe ist $6^1/_2$ ctm. lang; die Versuche an derselben wurden über der Gelenkverbindung der ersten und zweiten Phalanx und an der Zehenspitze angestellt; die erste Phalanx hat eine Länge von 3,1 ctm., die zweite von 3,4 ctm.

Um die Versuchsergebnisse so übersichtlich als möglich zu machen, habe ich mich auf die unumgänglich nöthigsten Tabellen beschränkt.

I. Oberschenkel.

Bei Tab. I bedürfen die Tabellenköpfe keiner weiteren Erläuterung. Die Zahlen in den Tabellen geben an, wie oft in 100 Fällen an einer bestimmten Lokalität und bei einem bestimmten Abstand der berührten Hautstellen die Empfindungen entweder als zweifache oder als einfache oder als unentschieden bezeichnet wurden. Um Weitläufigkeiten zu vermeiden, habe ich die absoluten Zahlen der Versuche für jede Einzellokalität und jeden Abstand der berührten Hautstellen nur summarisch angegeben. Sie lassen sich nöthigenfalls für jede der Prozentzahlen der Tabellen berechnen. Wenn z. B. in Lokalität III des Oberschenkels bei 10 Pariser Linien Abstand der berührten Hautstellen 20 Proc. zweifache, 36 Proc. einfache Empfindungen und 44 Proc. unentschiedene Urtheile eingetragen sind, so haben wir bei der absoluten Zahl aller Versuche von 25 fünf Fälle Doppelempfindungen, neun einfache Empfindungen und elf unentschiedene Urtheile. Die erste Horizontalreihe „0 Pariser Linien Abstand“ bezieht sich selbstverständlich auf die Vexirversuche, wo nur ein Hautpunkt berührt wurde; hier ist das Verhältniss umgekehrt, das Urtheil „zweifach“ ist falsch, „einfach“ richtig.

Tab. I. Oberschenkel.

Die Zahlen der Tabelle drücken in Procenten die Anzahl der Doppelempfindungen, der einfachen Empfindungen und der unentschiedenen Urtheile aus.

Geradlinige Abstände d. Berührungspunkte in Pariser Linien	Zweifach empfunden								Einfach empfunden							
	Lokalität								Lokalität							
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
0	2	2	0	2	2	1_7	4	11	86	82	93_5	90	90	91_5	90	78
2	—	—	—	—	—	—	—	19	86	88	100	94	85	90	64	47
4	—	—	—	9	5	5	5	47	66_7	33	69	53	55	65	50	12
6	—	4	—	5	—	26	9	70	45	59	46	45	50	35	38	19
8	8_6	8	4	8	9	23	47_5	77	34_4	43	70	59	26	38_5	5	10
10	10	33	20	27	36	53	73	75	30	46	36	18	22_5	23_5	9	3
12	17_5	21	33	47	58	77	80	92	22	8	7	21	28	4	5	4
14	9	29	33	63	53	100	75	90_5	28	33	22	12	5	—	20	—
16	54	62	72	73	86	100	100	100	—	4	7	13_5	—	—	—	—
18	54	77_5	87	100	91	100	93		5	—	3	—	—	—	—	
20	85	86	100	100	100	92	100		10	3_5	—	—	—	—	—	
22	95	92	90	93	100	100			—	4	—	7	—	—		
24	84	90	95	100	100	100			11	5	—	—	—	—		
26	83	100	100	—	100	100			8_5	—	—		—	—		
28	100	100	100	—	100				—	—	—		—			
30	100	100	100	—	—				—							

Geradlinige Abstände d. Berührungspunkte in Pariser Linien	Unentschieden								Absolute Zahlen d. Versuche							
	Lokalität								Lokalität							
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
0	12	16	6_5	8	8	6_5	6	11	48	57	73	51	52	58	49	35
2	14	12	—	6	15	10	36	34	7	8	13	16	13	19	19	21
4	33_3	67	31	38	40	30	45	41	15	19	19	21	20	20	20	24
6	55	37	54	50	50	39	53	11	20	27	26	22	22	31	21	26
8	57	49	26	33	75	38_5	47_5	13	23	23	30	24	21	26	19	30
10	60	21	44	55	51_5	23_5	18	22	19	24	25	22	22	21	22	26
12	60_5	71	60	32	14	19	15	4	23	24	27	23	21	26	20	25
14	63	48	45	25	42	—	5	9_5	21	24	27	24	21	27	20	21
16	46	34	21	13_5	14	—	—	—	22	23	28	22	21	24	13	16
18	41	22_5	10	–	9	—	7		22	22	29	23	22	16	15	
20	5	10_5	—	—	—	8	—		20	28	26	20	19	12	13	
22	5	4	10	—	—	—			20	24	28	14	19	8		
24	5	5	5	—	—	—			19	21	20	14	5	2		
26	8_5	—	—		—	—			12	10	8		2	1		
28	—	—	—		—				12	10	8		1			
30	—								7	9	7					
Gesammtzahl der Versuche an jeder Einzellokalität									310	353	394	296	281	291	231	224
Gesammtzahl der Versuche am Oberschenkel									2380							

Meine Versuchsergebnisse am Oberschenkel sind zunächst übersichtlich gemacht in der nachfolgenden Tabelle II. Letztere ist in 10 Vertikalkolumnen getheilt, je nach der procentigen Anzahl der Doppelempfindungen. Für jeden wirklichen, experimentell geprüften Abstand der Hautstelle ist in Klammer die Procent-Anzahl der zugehörigen Doppelempfindungen angegeben. Während in Tab. I die geradlinigen Abstände der Hautpunkte angegeben sind, d. h. die Entfernungen der beiden Nadelköpfe, zog ich es vor, in Tab. II auch der Rundung der Hautoberfläche Rechnung zu tragen. Der Sinn misst offenbar nicht den geradlinigen Abstand zweier Hautpunkte, sondern den wirklichen Abstand derselben auf der Hautoberfläche. Diese Korrektur kommt natürlich nicht oder kaum in Betracht bei geringeren Abständen, wohl aber bei grösseren, z. B. an Lokalität I des Oberschenkels entspricht dem direkten Abstand der Nadelköpfe von 14 Pariser Linien ein wirklicher Abstand der berührten Hautstellen von 14,4 Linien. Bekanntlich hat schon E. H. Weber gezeigt, dass der Raumsinn der Haut der Extremitäten in der Querrichtung des Gliedes etwas feiner ist als in der Längsrichtung, was Kottenkamp und Ullrich durch zahlreiche Versuche bestätigt haben. Indem aber meine Vorgänger nur die geradlinigen Abstände der berührten Hautstellen in Rechnung brachten, so kamen dadurch die auf die Querrichtung sich beziehenden Versuche in einen kleinen Vortheil gegenüber denen der Längsrichtung, in der die Rundung der Theile weniger einflussreich ist. Die für die Querrichtung gefundene und wirklich bestehende, nicht unerhebliche Präponderanz der Feinheit des Raumsinns bedürfte daher strenge genommen einer kleinen Korrektur, indem die von früheren Forschern gefundenen Werthe für die, eine Doppelempfindung ergebenden Abstände beider Zirkelspitzen um ein Geringes zu erhöhen wären.

Tab. II. Oberschenkel.

Die Versuche sind in 10 Vertikalreihen nach der procentigen Zahl der beobachteten Doppelempfindungen angeordnet. — Die eingeklammerten Zahlen bedeuten die procentigen Zahl der Doppelemfindungen, die dabei stehende Zahl den Abstand der berührten Hautstellen in Pariser Linien.

Lokalität	0—10%	10,1—20%	20,1—30%	30,1—40%	40,1—50%	50,1—60%	60,1—70%	70,1—80%	80,1—90%	90,1—100%
I	8(8,6) 10(10) 14,4(9)	12(17,5)				17(54) 18,5(54)			21(85) 25,5(84) 27(83)	24(95) 30(100) 33(100)
II	6(4) 8(8)		12(21) 14,3(29)	10(33)			16,4(62)	18,4(77,5)	21(86) 26(90)	23(92) 27,5(100) 29,5(100)
III	8(4)	10(20)		12(33) 14,3(33)				16,5(72)	18,5(87) 23(90)	20,8(100) 25,5(95) 27(100) 30(100)
IV	4(9) 6(5) 8(8)		10(27)		12(47)		14(63)	16,5(73)		18,3(100) 20,8(100) 23(93) 25,8(100)
V	4(5) 8(9)			10,2(36)		12,2(58) 14,3(53)			16,5(86)	18,5(91) 21,2(100) 23,5(100) 26(100) 29(100)
VI	4(5)		6(26) 8(23)			10,2(53)		12,2(77)		17(100) 14,5(100) 19(100) 21,7(92) 24(100)
VII	4(5) 6(9)				8(47,5)			10(73) 12(80) 14,3(75)		16,5(100) 18,5(93) 21(100)
VIII		2(19)			4(47)		6(70)	8(77) 10(75)		12(92) 14(90,5) 16,2(100)

Sämmtliche Zahlen der Tab. II mache ich durch ein graphisches Verfahren leichter übersichtlich, bei welchem die Abscissenwerthe die procentigen Zahlen der richtigen Fälle, die Ordinatenwerthe dagegen die zugehörigen Abstände der berührten Hautpunkte darstellten. Wurden für jede Einzellokalität die Enden je zweier benachbarten Ordinate durch gerade Linien verbunden, so erhielt ich eine Linie, welche im Allgemeinen mit der zunehmenden Zahl der Procente der richtigen Entscheidungen anstieg. Dass einzelne Ausnahmen eintraten, wo bei grösserem Abstand der berührten Hautstellen eine kleinere Zahl procentiger richtiger Fälle sich ergab, hängt von der beschränkten Zahl meiner Einzelversuche ab. Die die Ordinatenenden jeder der 8 Hautlokalitäten verbindenden geraden Linien wurden mit verschiedenen Farben verzeichnet, so dass ein rascher Ueberblick und eine schnelle Vergleichung der Hautstellen leicht möglich war. Diese Methode erlaubt für jede der geprüften 8 Hautstellen, den Abstand der berührten Hautpunkte sogleich zu finden, welcher einem bestimmten Verhältniss der Zahl der richtigen Fälle (R) zur Gesammtzahl aller Fälle (N) entspricht. Ich mass sodann für jede der 8 Lokalitäten des Oberschenkels die den einzelnen $\frac{R}{N}$ entsprechenden Abstände der berührten Hautpunkte, so zwar, dass letztere bestimmt wurden für 5—, 10—, 15 Procent richtiger Fälle und so fortschreitend um jeweils 5 bis 100 Procent.

Bekanntlich ist nach der Fechner'schen Fundamentalnorm die Feinheit des Raumsinns doppelt so gross, nicht wenn derselbe Reizunterschied in einer doppelt so grossen procentigen Zahl richtiger Fälle bemerkt wird, sondern wenn in derselben procentigen Zahl richtiger Fälle der halbe Reizunterschied bemerkt wird.

Um die Resultate dieser Aufzeichnungen leicht übersichtlich zu machen, sind in der nachfolgenden Tab. III nicht etwa für die 8 Lokalitäten des Oberschenkels die den einzelnen $\frac{R}{N}$ entsprechenden Abstände der berührten Hautpunkte in absoluten Maassen angegeben, sondern es wurde die Feinheit des Raumsinns in Lokalität I des Oberschenkels in der nachfolgenden Tabelle = 100 gesetzt. Man ersieht aus derselben, dass der Raumsinn in der Richtung gegen das Knie zunehmend sich verfeinert. Weiterer Erläuterungen bedarf die Tabelle III nicht.

Tab. III.

Vergleichbare Maasse der Feinheit des Raumsinns der Haut des Oberschenkels. Die Feinheit des Raumsinns in der Gegend des Drehpunktes des Hüftgelenkes ist = 100 angenommen.

Lokalität	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
I	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
II	107	102	106	142	137	133	129	127	129	133	134	136	126	102	87	97	109
III	124	122	121	103	105	109	111	116	124	132	139	144	148	115	98	94	125
IV	135	135	136	137	137	138	137	138	143	146	145	143	140	104	103	106	138
V	139	142	144	147	140	133	125	133	157	159	163	165	168	129	125	121	142
VI	168	206	212	200	189	181	173	173	181	189	197	203	185	122	110	107	162
VII	191	194	197	203	204	206	207	209	218	226	233	171	216	146	133	130	160
VIII	590	550	500	477	443	418	395	383	384	379	380	244	279	183	163	175	185

II. Unterschenkel.

Die Resultate der am Unterschenkel angestellten Messungen sind in den Tabellen IV—VI ganz in derselben Weise angeordnet, wie die Tabellen I—III für den Oberschenkel. Dasselbe gilt von den Versuchen am Fussrücken und an der grossen Zehe, die in den Tabellen VII, VIII und IX übersichtlich zusammengestellt sind.

Tab. IV. Unterschenkel.

Die Zahlen der Tabelle drücken in Procenten die Anzahl der Doppelempfindungen, der einfachen Empfindungen und der unentschiedenen Urtheile aus.

Geradlinige Abstände d. Berührungspunkte in Pariser Linien	Zweifach empfunden								Einfach empfunden								Unentschieden								Absolute Zahlen der Versuche an den einzelnen Lokalitäten							
	Lokalität																														
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
0	7	5	3	6	4,5	7,5	13	13	84	86	85	89	92,5	85	81	70	9	9	12	5	3	7,5	6	17	55	53	65	80	65	51	60	68
2	19	—	6	11	—	10	13,5	14	48	88	82	89	100	90	73	69	33	12	12	—	—	—	13,5	17	21	17	17	18	19	20	22	29
4	38	8	14	16	20	25	33	15	19	71	58	68	64	50	37	50	43	21	28	16	16	25	30	35	26	24	21	25	25	24	24	39
6	41	7	14	14	34	43	59	36	22	33	47,5	76	51	43	30	32	37	60	38,5	10	15	14	11	32	32	27	28	29	26	23	27	37
8	61,5	20	43	28	32	32	65	70	7	49	23	58	41	34	27	11	31,5	31	34	14	27	34	8	19	28	29	26	28	22	26	26	36
10	70	38	51,5	37	63	70,5	88	81,5	10	16	18,5	30	12	11	4	5	20	46	30	33	25	18,5	8	13,5	30	31	27	30	24	27	25	37
12	93	73	50,5	68,5	74	80	89	94	3,5	—	29	17,5	13	12	7	—	3,5	27	20,5	14	13	8	4	6	29	33	24	28	23	25	27	34
14	85	72	74	87	92	88	92	97	4	4	5	3	4	4	4	—	11	24	21	10	4	8	4	3	27	25	19	31	26	26	25	35
16	89	93	88	89,5	100	92	100	100	7	—	4	3,5	—	8	—	—	4	7	8	7	—	—	—	—	26	28	26	28	25	25	25	23
18	100	96	100	100	100	94	100	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	—	—	—	6	—	—	25	26	27	29	22	17	19	13
20		100	100			100				—	—			—				—	—			—				12	17			13		
																	Gesammtzahl der Versuche an jeder Lokalität								299	305	237	326	277	277	280	351
																	Gesammtzahl der Versuche am Unterschenkel								2352							

Tab. V. Unterschenkel.

Die Versuche sind in 10 Vertikalreihen nach der procentigen Zahl der Doppelempfindungen angeordnet. Die eingeklammerten Zahlen bedeuten die procentigen Zahlen der Doppelempfindungen; die dabei stehende Zahl den Abstand der berührten Hautstellen in Pariser Linien.

Lokalität	0—10%	10,1—20 %	20,1—30 %	30,1—40 %	40,1—50 %	50,1—60 %	60,1—70 %	70,1—80 %	80,1—90%	90,1—100 %
I		2(19)		4(38)	6(41)		8(61,5) 10(70)		14,2(85) 16,3(89)	12(93) 18,5(100)
II	4(8) 6(7)	8(20)		10(38)				12(73) 14(72)		16,5(93) 18,2(96) 20,7(100)
III	2(6)	4(14) 6(14)			8(43)	10(51,5) 12(50,5)		14(74)	16,5(88)	18,5(100) 21(100)
IV		2(11) 4(16) 6(14)	8(28)	10(37)			12(68,5)		14,2(87) 16,7(89,5)	18,5(100)
V		4(20)		6(34) 8(32)			10(63)	12(74)		14,2(92) 16(100) 18,5(100)
VI	2(10)		4(25)	8(32)	6(43)			10(70,5) 12(80)	14,2(88)	16,8(92) 18,5(94) 21(100)
VII		2(13,5)		4(33)		6(59)	8(65)		10(88) 12(89)	14(92) 16,3(100) 18,3(100)
VIII		2(14) 4(15)		6(33)			8(70)		10(81,5)	12(94) 14(97) 16(100) 18(100)

Tab. VI. Unterschenkel.

Vergleichbare Maasse der Feinheit des Raumsinns der Haut des Unterschenkels.

Lokalität	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
I	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
II	28	31	35	38	50	59	60	62	62	67	72	93	96	97	96	80	89
III	34	38	45	49	67	71	59	70	68	72	75	80	85	89	90	79	100
IV	42	37	38	39	51	61	64	66	68	75	82	89	96	101	90	79	100
V	55	46	44	61	76	85	84	83	81	86	89	94	101	107	109	95	116
VI	67	65	47	49	79	103	99	96	92	97	101	105	108	107	99	74	88
VII	85	81	86	90	116	127	130	130	124	111	118	128	139	144	120	95	113
VIII	49	51	57	61	81	96	99	103	104	114	125	128	134	134	133	112	116

III. Fussrücken und grosse Zehe.

Tab. VII.

Die Zahlen der Tabelle drücken in Procenten die Anzahl der Doppelempfindungen, der einfachen Empfindungen und der unentschiedenen Urtheile aus.

Abstand in Pariser Linien	Fuss									Grosse Zehe						Absolute Zahlen d. Versuche				
	2fache			1fache			Unentschiedene			2fache		1fache		Unentschiedene		Fuss			Grosse Zehe	
	Lokalität									Lokalität						Lokalität				
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.	3.	1.	2.
0	14	15	15	78	77	85	8	8	—	9	20	91	80	—	—	56	66	47	45	53
2	18	22	24	52	75	76	30	3	—	34	54	61	46	5	—	27	31	29	38	41
4	39	36	52	39	60	42	22	4	6	62	100	35	—	3	—	31	30	31	39	41
6	58	68	83	24	20	10	18	12	7	98	100	2	—	—	—	28	34	30	42	42
8	83	94	97	17	3	—	—	3	3	100	100	—	—	—	—	30	34	30	38	35
10	97	100	97	—	—	—	3	—	3							32	35	30		
12	97	100	100	3	—	—	—	—	—							32	32	30		
14	100	100	100	—	—	—	—	—	—							26	22	15		
																Summe:				
																262	284	242	202	212
																788			414	
																1202				

Tab. VIII.

Die Versuche sind in 10 Vertikalreihen nach der procentigen Zahl der beobachteten Doppelempfindungen angeordnet. Die eingeklammerten Zahlen bedeuten die procentigen Zahlen der Doppelempfindungen, die dabei stehende Zahl den Abstand der berührten Hautstellen in Pariser Linien.

Lokalität		0 b. 10%	10,1 b 20%	20,1 b 30%	30,1 b. 40%	40,1 b. 50%	50,1 b. 60%	60,1 b. 70%	70,1 b. 80%	80,1 b 90%	90,1 b. 100%
Fuss	I		2(18)		4(39)		6(58)			8(83)	10(97) 12(97) 14(100)
Fuss	II			2(22)	4(36)			6(68)			8(94) 10(100) 12(100) 14(100)
Fuss	III			2(24)			4(52)			6(83)	8(97) 10(97) 12(100) 14(100)
Grosse Zehe	I				2(34)			4(62)			6(98) 8(100)
Grosse Zehe	II						2(54)				4(100) 6(100) 8(100)

Tab. IX.

Vergleichbare Maasse der Feinheit des Raumsinns der Haut des Fussrückens und der grossen Zehe. Die Feinheit des Raumsinns in der Gegend des Drehpunktes des Fussgelenkes gleich 100 angenommen.

Lokalität		20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
Fuss	I	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Fuss	II	—	113	100	95	98	100	106	110	111	112	113	112	111	114	115	117	140
Fuss	III	—	129	129	129	132	131	133	139	136	138	137	137	134	132	129	126	117
Grosse Zehe	I	—	—	—	171	171	164	168	163	156	157	156	157	156	157	162	167	175
Grosse Zehe	II	—	—	—	—	—	—	—	274	277	275	269	264	252	252	257	255	350

Wir haben zunächst die Ausbildung des Raumsinns mit der Beweglichkeit der Körpertheile zu vergleichen und zwar so, dass jede der drei Hauptabtheilungen der untern Extremität für sich in Betracht gezogen wird. Tabelle X gibt für den Oberschenkel die Endmittel aus den Zahlenwerthen der Tabelle III. Die erste Vertikalkolumne (A) enthält die vergleichbaren Empfindlichkeitsmaasse der acht Lokalitäten des Oberschenkels, welche aus denjenigen Versuchen gewonnen wurden, bei welchen die Abstände der berührten Hautstellen nur gering waren, so dass (siehe die 7 ersten Vertikalkolumnen der Tabelle III) die Zahl der richtigen Entscheidungen sich höchstens auf 50 Procent erhob. Die zweite Vertikalkolumne (B) der folgenden Tabelle enthält die Endmittel aus den 10 übrigen Vertikalrubriken der Tabelle III, in welchen die Zahlen der richtigen Fälle von 55 bis 100 Procent mit zunehmendem Abstand der berührten Hautstellen zunehmen. Eine dritte Vertikalrubrik (C) gibt in Tabelle X die Mittel aus allen Beobachtungen von 20—100 Procent richtiger Fülle, direkt aus den Werthen der Tabelle III berechnet. Rubrik D enthält die Abstände der Hautstellen von dem Drehpunkt des Hüftgelenks, während in Rubrik E die Zuwüchse der Feinheit des Raumsinns durch die relativen Abstände der Lokalitäten vom Drehpunkt des Hüftgelenks dividirt sind.

Tab. X.

Endmittel der Empfindlichkeitswerthe für den Oberschenkel.

Lokalität	Zahl der richtigen Fälle			Abstand der Hautstelle vom Drehpunkt des Hüftgelenkes in Centim.	
	20—50%	50—100%	20—100%		
	A	B	C	D	E
I	100	100	100	0	
II	122	118	120	6=1	$\frac{18}{1}=18$
III	113,8	123,5	118	12=2	$\frac{23,5}{2}=12,8$
IV	136	130,6	133	18=3	$\frac{30,6}{3}=10,2$
V	138,5	146,2	143	24=4	$\frac{46,2}{4}=11,5$
VI	189,8	162,9	174	30=5	$\frac{62,9}{5}=12,6$
VII	200	184,2	191	36=6	$\frac{84,2}{6}=14$
VIII	481	275,5	360	42=7	$\frac{175,5}{7}=25,1$

Die Quotienten der Abstände der Hautstellen von dem Drehpunkt des Hüftgelenks in die Zuwüchse der Feinheit des Raumsinns stimmen derartig mit einander überein, wie es bei der Zahl der von mir gesammelten Einzelversuche nur irgend erwartet werden dürfte. Die Zunahme der Empfindlichkeit ist in Lokalität II etwas grösser; dem entspricht die von den Herren Ullrich und Kottenkamp an der obern Extremität gemachte Erfahrung, dass beim Uebersprungen eines Gelenkes die Empfindlichkeit in etwas stärkerem Grade zunimmt. Den grössten relativen Werth bietet Lokalität VIII, die zwar dem Oberschenkel noch angehört, aber unter der Drehaxe des Kniegelenkes liegt.

Wenn nach der von Professor v. Vierordt aufgestellten Norm diejenigen Hautstellen eines Körpertheils die bevorzugteren sind, welche bei den Bewegungen desselben grössere Exkursionsweiten bieten, und wenn nach den zahlreichen Messungen von Kottenkamp und Ullrich die Hautstellen der obern Extremität dieser Norm ausnahmslos gehorchen, insofern die der Fingerspitze näheren Hautstellen irgend einer der vier physiologischen Hauptabtheilungen der obern Extremität in der Entwicklung ihres Raumsinns bevorzugt sind, so liess sich ein analoges Verhalten für die Haut des Oberschenkels erwarten. Die Feinheit des Raumsinns nimmt nach meinen Messungen immer mehr zu, je mehr man sich dem Knie nähert! Man könnte die Einwendung machen, dass — zum Unterschied von den Bewegungsbedingungen des Oberarmes, wo nahezu immer die unteren Parthien ausgiebigere Bewegungen machen als die oberen — beim Gebrauch der untern Extremität in vielen Fällen die dem Hüftgelenk näheren Stellen des Oberschenkels stärkere Exkursionen machen, als die von dem Hüftgelenk entfernteren. Letzteres ist in der That der Fall, wenn das Bein beim Gehen als Stütze gebraucht wird, wenn wir vom Sitzen aufstehen u. s. w. Diese Verwendungsweisen treten aber entschieden sehr zurück gegenüber den übrigen, wo der Oberschenkel um seinen Drehpunkt im Hüftgelenk rotirt, z. B. beim Schwingen des Beins während des Gehens, bei den zahllosen willkürlichen Bewegungen, die wir mit dem freien Bein machen, bei den nicht minder zahlreichen Bewegungen des Beins beim Sitzen oder Liegen, wo immer die Rotations-

axe im Hüftgelenk liegt. Erwägen wir ausserdem, dass diese Bewegungen nicht blos die sehr viel häufigern, sondern auch in ihrer Geschwindigkeit bevorzugt sind gegenüber den Rotationen des Oberschenkels um seine untere Axe, so kann es nicht auffallen, dass der bevorzugte Gebrauch des Oberschenkels den Ausschlag geben muss bei der Entwicklung und Ausbildung des Raumsinns seiner verschiedenen Hautstellen.

Die nachfolgende Tabelle XI ist analog wie Tabelle X construirt.

Tab. XI.

Endmittel der Empfindlichkeitswerthe für den Unterschenkel.

Lokalität	Zahl der richtigen Fälle in Procenten			Abstand der Hautstellen vom Drehpunkt des Kniegelenkes in Cent.	Abstand der Hautstellen von der unempfindlichsten Lokalität in der Mitte des Unterschenkels	
	20—50%	50—100%	20—100%			
	A	B	C	D	E	F
VIII des Oberschenkels		127		2	20=4	$\frac{52,1}{4}=13,0$
I des Unterschenkels	100	100	100	7*)	15=3	$\frac{25,1}{3}=8,3$
II	43	81,8	66	12	10=2	$\frac{6,5}{2}=3,3$
III	52	80,8	69	17	5=1	$\frac{5,9}{1}=5,9$
IV	47	74,9	64	22	0	0
V	64	96,1	83	27	5=1	$\frac{21,2}{1}=21,2$
VI	73	96,7	87	32	10=2	$\frac{21,8}{2}=10,9$
VII	102	122,2	114	37	15=3	$\frac{47,3}{3}=15,7$
VIII	70,5	120,3	99,8	41	19=3,8	$\frac{45,4}{3,8}=12$

*) Die Stelle liegt 5 Ctm. unterhalb dem Kniegelenk, also etwa 7 Ctm. unterhalb der Drehaxe des Kniegelenks.

Am Unterschenkel tritt uns das überraschende Resultat entgegen, dass die Feinheit des Raumsinns vom Kniegelenk nach abwärts sinkt, den geringsten Werth in der Mitte des Glieds erlangt, um sodann nach abwärts wieder zu steigen, und zwar erfolgt von der Stelle des geringsten Raumsinns (Lokalität IV) das Steigen nach aufwärts etwas langsamer, als in der Richtung nach abwärts. Mit diesem Verhalten macht der Unterschenkel eine bemerkenswerthe Ausnahme gegenüber sämmtlichen Stellen der untern wie der obern Extremität.

Der relative Feinheitswerth des Raumsinns an der untern Grenze des Oberschenkels, den entsprechenden Werth der Lokalität I des Unterschenkels = 100 gesetzt, beträgt 127, ungefähr denselben Werth zeigt die unterste Stelle des Unterschenkels.

Gehen wir aus von der unempfindlichsten Stelle (Lokalität IV) des Unterschenkels und berechnen aus Rubrik B die Quotienten der Abstände der einzelnen Hautstellen von Lokalität IV in die Empfindlichkeitszuwüchse, so ergeben sich die in Vertikalrubrik F der Tabelle XI eingezeichneten Werthe. Dass diese Quotienten in der obern Hälfte des Unterschenkels, und ebenso in der untern Hälfte, unter sich verglichen, grössere Abweichungen bieten, als diejenigen der Rubrik E des Oberschenkels, liegt in der Natur der complexen Bedingungen, die bei der Entwicklung des Raumsinns an dieser Körperstelle sich geltend machen; dass ein Ansteigen der Feinheit des Raumsinns von der Mitte des Unterschenkels an nach beiden Seiten hin vorhanden ist, das zeigen meine Zahlen unbestreitbar. Allerdings sehe ich beim Abschluss meiner Arbeit, dass bei den Versuchen gerade am Unterschenkel die mir zur Disposition stehende Zahl von nahezu dritthalbtausend Einzelbeobachtungen nur hinreicht zur Aufstellung von blos ungefähren Endmitteln der Empfindlichkeitswerthe.

Das Ansteigen der Feinheit des Raumsinns von der Mitte des Unterschenkels gegen beide Enden, diese scheinbare Ausnahme von allen übrigen Einzelabtheilungen der obern und untern Extremität, spricht nicht etwa gegen die Hypothese, deren Berechtigung ich für die untere Extremität zu prüfen habe, sondern sie ist ein weiterer beachtenswerther Beweis für die Abhängigkeit des Raumsinns

der Einzelstellen eines Körpertheils von der Exkursionsweite ihrer Bewegungen bei ihrem Gebrauch.

An sämmtlichen übrigen Hauptabtheilungen der untern Extremität, sowie nach den Messungen Kottenkamps und Ullrichs auch der obern, nimmt die Entwicklung des Raumsinns stetig zu in der Richtung nach abwärts und zwar aus dem Grunde, weil die Bewegungen in der Art geschehen, dass beim Gebrauch der Theile das eine (untere) Ende nahezu immer, oder doch vorwiegend, ausgiebigere Bewegungen vollführt. Nun hätten wir die Aufgabe, eben aus den Bewegungen des Unterschenkels die Gestaltung der Raumsinnswerthe seiner Einzellokalitäten nachzuweisen.

Grössere Exkursionen machen die untern Parthien des Unterschenkels beim Schwingen des Beins beim Gehen, ebenso bei den zahlreichen willkürlichen Bewegungen der Beugung und Streckung des Unterschenkels bei zugleich unbeweglichem Oberschenkel; umgekehrt aber verhält es sich bei dem Stützen des Beins auf den Boden während des Stehens, sowie bei den häufigen Bewegungen, die wir während des Sitzens bei zugleich auf dem Boden stehender Fusssohle ausführen. Hier ist in der That die Kniegegend die bewegteste von allen. Es streiten sich also zwei Einflüsse, die in entgegengesetzter Weise sich geltend machen, bei der Ausbildung des Raumsinns der Haut des Unterschenkels, während beim Oberschenkel der Effekt des einen erheblich zurücktritt gegenüber dem andern. Dadurch wird zunächst erklärlich, dass die Einzelstellen der Haut des Unterschenkels etwas geringere verhältnissmässige Variationen der Feinheit des Raumsinns zeigen, als es beim Oberschenkel der Fall ist. Immerhin aber müsste der eine Einfluss vorwiegen, so dass eine stetige Zunahme des Raumsinns nach einer Richtung, entweder nach abwärts (wie es bei allen übrigen Theilen der Gliedmassen der Fall ist) oder nach aufwärts bedingt würde. Das aber ist nicht der Fall, indem der Raumsinn von der Mitte des Gliedes an nach aufwärts und nach abwärts sich verfeinert.

Die specielle Gestaltung der Feinheitswerthe des Raumsinns in dieser Abtheilung der Haut lässt sich also nicht mit derselben Leichtigkeit aus dem Gebrauch der Theile ableiten, wie wir das bei allen übrigen Abtheilungen der untern und obern Extremität

wirklich im Stande sind, eben weil wir die relative Wirksamkeit der in Rede stehenden beiden entgegengesetzten Einflüsse nicht abschätzen können.

Nehmen wir an, dass beide Einflüsse, vermöge welcher das eine Mal der untere, das andere Mal der obere Theil des Unterschenkels stärkere Exkursionen vollführt, sich compensiren oder doch einigermaassen compensiren, so würde die Feinheit des Raumsinns im ganzen Bezirke ungefähr dieselben Werthe zeigen. Dann würden diejenigen Gebrauchsweisen des Unterschenkels den Ausschlag geben, bei welchen der bewegte Unterschenkel in seinen mittleren Theilen einen kleineren Weg zurücklegt, als an seinen beiden Enden. Dies ist der Fall, wenn das Bein die Rolle des Stützens beim Gehen übernimmt. Die Betrachtung der Fig. 3 in Taf. XII der Weber'schen Schrift über die Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge zeigt, dass beim Uebergang des Unterschenkels aus der Anfangslage 1 in die Endlage 18, in Folge der Abwicklung der Fusssohle vom Boden, die mittlere Parthie des Unterschenkels einen kleineren Raum zurücklegt als das untere oder gar das obere Ende. Derselbe Fall tritt ein bei den Beugungen und Streckungen im Hüftgelenk, wenn die Stellung des gebeugten Unterschenkels gegen den Oberschenkel gleich bleibt; oder auch bei den gleichzeitigen Streckungen und Beugungen im Hüft- und im Kniegelenk bei nicht auf dem Boden stehendem Fuss, vorausgesetzt, dass die Bewegungen im Hüftgelenk ausgiebiger sind, als im Kniegelenk.

Die eben erwähnten Betrachtungen sind, selbst wenn sie an sich völlig unangreifbar wären, nur im Stand, eine geringe Minderung der Feinheit des Raumsinns in der Mitte des Unterschenkels plausibel zu machen; die erheblich geringeren Zahlen meiner relativen Raumsinnswerthe gegenüber denen an beiden Enden des Unterschenkels erklären sie aber keineswegs.

Die nachfolgenden Betrachtungen dürften einer Erklärung vielleicht besser vorarbeiten. Die Zuwüchse der Feinheit des Raumsinns sind, wie wir wissen, proportional den Abständen der Hautstellen von der Drehaxe des Glieds; in der Gegend der Gelenke erfolgen diese Zuwüchse etwas rascher. Tragen wir auf die Ab-

scisse die Abstände der geprüften Hautstellen des Oberschenkels vom Drehpunkt im Hüftgelenk auf und die diesen Hautstellen zukommenden Zuwüchse der Feinheit des Raumsinns als Ordinaten, so erhalten wir, wenn die Ordinatenenden durch Linien mit einander verbunden werden, keine in der Richtung gegen das Knie aufsteigende Gerade, sondern ein ziemlich rascheres Ansteigen der Linie im untern Sechstel des Oberschenkels. Die Wachsthümer der Feinheitswerthe des Raumsinns werden sich demnach durch eine Kurve darstellen lassen, die gegen die Abscissenaxe convex ist; die Convexität ist anfangs so gering, dass der Verlauf der Linie von der geraden fast nicht abweicht, in den untern Parthien des Oberschenkels nimmt sie aber rasch zu.

Verzeichnen wir für den Unterschenkel zwei derartige Kurven, welche den beiden Gebrauchsweisen desselben Rechnung tragen, so dass die eine in der Richtung vom Knie gegen das Fussgelenk anfangs langsamer, später rascher ansteigt, während die andere in entgegengesetzter Richtung dasselbe Verhalten zeigt, so würde die Summirung der zusammengehörigen Ordinatenwerthe beider Kurven allerdings eine Abnahme der Feinheit des Raumsinns von beiden Enden gegen die Mitte des Unterschenkels ergeben.

Schon die Herren Kottenkamp und Ullrich haben an der obern Extremität die Beobachtung gemacht, dass an den Gelenken die Feinheit des Raumsinns eine kleine Erhöhung erfährt. Das Kniegelenk bietet diese Erscheinung in besonders auffälliger Weise. Alles spricht dafür, dass die Haut in der Gegend der Gelenke noch unter gewissen Specialeinflüssen steht, welche sich an den übrigen Hautstellen nicht, oder nur in sehr geringem Grad geltend machen dürften. Ich kann zunächst nur auf einen Moment hinweisen, nemlich die sehr variable Spannung der Haut bei den verschiedenen Lagen der Glieder. Die nachfolgende Tabelle gibt, für einige Lokalitäten des Ober- und Unterschenkels die Abstände zweier in der Längsrichtung der Extremität liegenden Hautpunkte bei der stärksten Streckung, der stärksten Beugestellung und einer Mittelstellung des Kniegelenks.

Tab. XII.

Abstände der Hautpunkte in Millimetern.

Lokalität	Stärkste Streckung	Mittelstellung	Stärkste Beugung
	des Kniegelenkes		
VIII des Oberschenkels	25	31	35
I d. Unterschenkels	25	28	30
Mitte d. Unterschenkels	25	25	25

Daraus geht hervor, dass die Haut über der Patella bei stärkster Beugung im Kniegelenk in den diesem Gelenk naheliegenden Bezirken eine sehr bedeutende Spannung in der Längsrichtung zeigt, während sie im Zustand der möglichsten Entspannung sich befindet bei der Streckstellung. Die Werthe der Mittelstellung zeigen, dass die Haut beim allmäligen Uebergang aus der Streckung in Beugung in der ersten Phase der Dehnung einen geringeren Widerstand entgegensetzt, als in der zweiten Phase. Die Haut in der Mitte des Unterschenkels (auch des Oberschenkels) zeigt nichts derartiges, zwei Punkte derselben zeigen unter allen Umständen denselben Abstand.

Selbst in der Querrichtung ist die Haut über der Patella bei stärkster Beugung etwas stärker gespannt, als bei stärkster Streckung im Kniegelenk, die betreffenden Werthe verhalten sich wie 28 zu 25.

Nach Abschluss meiner Versuche wurde ich erst auf diese Erwägungen geführt und bedaure keine Messungen über den Raumsinn in der Gegend des Kniegelenkes bei den verschiedenen Winkelstellungen des Gelenkes ausgeführt zu haben. Nur auf Grund sorgfältiger Messungen wird man zu beurtheilen vermögen, wie und in welchem Sinn die in Rede stehenden Verhältnisse sich bei der Entwicklung des Raumsinns dieser Lokalität geltend machen und welche Stellung des Kniegelenkes einzunehmen ist, um diese Region mit den übrigen Regionen des Ober- und Unterschenkels in Bezug auf ihren Raumsinn vergleichen zu können.

Viel einfachere Gebrauchsweisen bietet der Fuss und die Zehen. Beim Schwingen während des Gehens sind die Differenzen der Exkursionen in den einzelnen Lokalitäten so gering, dass sie kaum in Betracht kommen. Beim Abwickeln der Fusssohle vom Boden während des Gehens ist der hintere Theil des Fusses bevorzugt; letzteres kann aber nicht in Betracht kommen gegen die zahllosen Fälle des freien Gebrauchs des Fusses, vor allem die Beugung und Streckung im ersten Fussgelenk. Demgemäss sehen wir hier eine Zunahme der Feinheit des Raumsinns auf dem Fussrücken in der Richtung gegen die Zehen. Die nachfolgende Tabelle ist den Tabellen X und XI analog construirt. Der relative Raumsinnswerth der Lokalität VIII des Unterschenkels (in der Nähe der Axe des Fussgelenkes) ist 82,1, wenn der entsprechende Werth der Lokalität I des Fussrückens (siehe die Vertikalkolumne B der Tabelle XIII) = 100 gesetzt ist.

Tab. XIII.

Endmittel der Empfindlichkeitswerthe für den Fussrücken und die grosse Zehe.

Lokalität		20—50% A	50—100% B	20—100% C	Abstand der Hautstellen vom Fussgelenk in Centim. D	E
VIII d. Unterschenkels			82			
des Fussrückens	I	100	100	100	4=1	$\frac{17,9}{1}=17,9$
	II		115,5		8=2	$\frac{33,4}{2}=16,7$
	III		131,6		12=3	$\frac{49,5}{3}=16,5$
der grossen Zehe	I		160,6		Abstand vom ersten Zehengelenk 3,8=1	$\frac{29,0}{1}=29,0$
	II		266,5		6,5=2,1	$\frac{134,9}{2,1}=64,2$

Die Quotienten der Rubrik E stimmen für den Fussrücken so vollständig mit einander überein, wie es bei Sensibilitätsmessungen nur irgend erreichbar. Die Haut des Fussrückens ist daher ein neuer Beweis der Gültigkeit unseres Gesetzes.

Wie bei den Fingern, so wächst in der Zehe gegen die Peripherie hin die Feinheit des Raumsinns verhältnissmässig stärker; und wie in der ersten Fingerphalanx diese Zunahme minder rasch erfolgt, als in den beiden letzten Phalangen, so constatiren auch die betreffenden Werthe für die Enden der ersten und zweiten Phalanx der grossen Zehe, dass diese beiden Stellen der grossen Zehe bei den Beugungen und Streckungen viel grössere Differenzen in ihren Exkursionsweiten bieten, als ihren geradlinigen Abständen vom ersten Zehengelenk entspricht. Da also die zweite Zehenphalanx viel beweglicher ist als die erste, so können die Quotientenwerthe der Rubrik E für diese beiden Hautpunkte nicht gleich sein. Die von mir gefundene rasche und in beiden Phalangen ungleiche Zunahme des Raumsinns in der Zehe in der Richtung gegen die Zehenspitze ist somit ein weiterer Beweis für die Gültigkeit unserer allgemeinen Norm, welche der Entwicklung des Raumsinns zu Grunde liegt.

Die nachfolgende Endtabelle gibt eine Uebersicht über die relativen Raumsinnswerthe im ganzen Bereich der untern Extremität. Zur leichteren Orientirung habe ich in der beigegebenen Tafel die betreffenden Werthe graphisch verzeichnet.

Tab. XIV.

Lokalität	Oberschenkel	Unterschenkel	Fussrücken	Grosse Zehe
I	100	217,2	318,4	511,3
II	118	176,8	367,7	848,5
III	123,5	175,4	419	
IV	130,6	163		
V	146,2	208		
VI	162,9	210		
VII	184,2	265		
VIII	275,5	261,2		

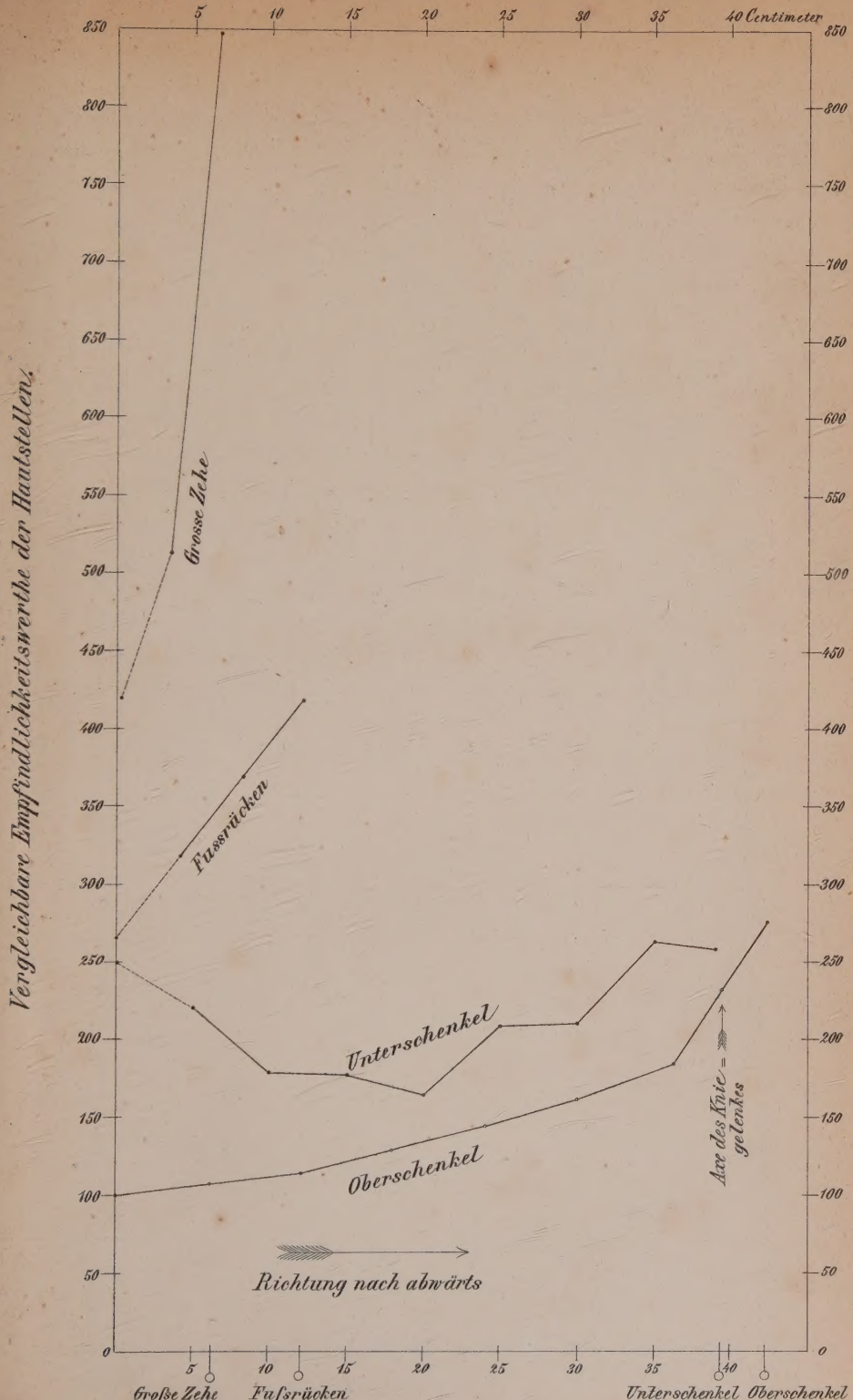
Die einzelnen Abtheilungen der untern Extremität verhalten sich (den Unterschenkel ausgenommen) ganz analog denen der obern Extremität, d. h. der Raumsinn gewinnt an Feinheit in der Richtung nach abwärts, ohne dass Stellen geringeren Raumsinns dazwischen geschoben sind. In der untern Extremität ist aber die Bevorzugung der Zehenspitze gegenüber der Haut in der Gegend des Hüftgelenkes viel geringer als in den entsprechenden Regionen der obern Extremität, für welche die Herren Kottenkamp und Ullrich ein Verhältniss wie 1:24 gefunden haben; dieses Verhältniss gestaltet sich bei der untern Extremität blos wie $1 : 8\frac{1}{2}$.

Nach einer mir gemachten Bemerkung Professor v. Vierordt's scheint diese Differenz von der geringeren Geschwindigkeit abzuhängen, mit der die Bewegungen der untern Extremität erfolgen. Vergleichen wir die analogen Theile der obern und untern Extremität, so stellen sich noch weitere Unterschiede heraus. Der Raumsinn nimmt in der Richtung nach abwärts viel rascher zu im Oberschenkel ($1 : 2\frac{1}{2}$), als im Oberarm (nach Kottenkamp und Ullrich) $1 : 1\frac{1}{2}$). Am Fuss ist das Verhältniss 1:1,6; auf der Hand 1:2,8; an der grossen Zehe 1:2; an den Fingern 1:3,1.

Nur die Haut des Unterschenkels bietet das schon besprochene exceptionelle Verhalten, das aber, wie ich überzeugt bin, bei weiterer Prüfung der complexen Gebrauchsbedingungen gerade dieser Körperregion auf unsere allgemeine Norm sich wird zurückführen lassen.

Die Feinheit des Raumsinnes
in der Haut der unteren Extremitaet.

Zeitschrift für
Biologie 1871. Bd. VII
zu S. 262.



Druck von C. R. Schurich in München.